

蒸發計 蒸發量の 時系列 및 統計的 特性 分析

Analysis of the Statistical and Time-Series Characteristics for Pan Evaporation

具 滋 雄
Ja Woong Koo

Summary

In order to estimate future consumptive use, some statistical characteristics of 22-year pan evaporation data at four selected stations were calculated in this study. Districtal distribution, trend analysis and time-series, statistical and periodic analysis for annual, monthly and ten-day values were performed in the statistical analysis. The stations are Seoul, Taegu, Jeonju and Mokpo for monthly data, and Suwon data are compared to the reported Penman values.

The results are as followed:

1. Annual evaporation ranged to 990-1,375mm varying with the locations of the stations. The Districtal distribution of evaporation in the Republic is shown in Fig. 1.
2. The trend analysis for annual evaporation resulted in detail in Table 2 and Fig. 2, through simple moving average methods. The results show relatively short-period data of about 10 years would be acceptable for field use.
3. The means and dispersions of monthly evaporation at four stations are detailed in Table 3.
4. The monthly evaporation approached to the trend of normal distribution. Fig. 3 showed the examples of normal distribution for each typical monthly data.
5. The correlograms detailed in Fig. 4, shows the time-series characteristics of monthly evaporation, whose periodic term should be twelve months.
6. The periodic analysis for monthly evaporation results in Table 4. Fig. 5 shows the comparison of estimated values to actual and the trend approaches Shuster's periodic trend.
7. A periodic description of days after March 1 for irrigation periods was developed to predict ten-day evaporation in Fig. 6. The ten-day evaporation is different in the distribution form and occurrence period of maximum values from the reported Penman's evapotranspiration.

I. 序 論

水資源 開發에 있어서는 勿論이지만, 農業用水 開發에 있어서는 蒸發散量은 大우 重要한 役割을 擔當한다. 自由水面上의 蒸發量은 用水源으로부터의 損失水量이며, 植物이나 土壤面 등에서와 같은 不飽和性 蒸發現象이나 植物의 生理作用에 의한 蒸散作用은 灌溉計劃에 있어서 不可分의 因子이기 때문이다.

自由水面 蒸發量의 推定을 위한 方法으로서 蒸發접시의 資料의 利用이 60餘年前⁽¹⁾부터 비롯하였으며, 蒸發접시의 形狀과 諸元도 數種에 이르고 있다. 特히 많은 研究의 結果에 의하여 植物의 蒸散量과 蒸發접시의 蒸發量間에는 高度의 相關性이 있음이 立證되었다. Pruitt(1963)⁽²⁾은 植物의 潛在蒸發散量의 推定에 大우 正確性이 있다는 綜合的인 考察을 提示하였다.

國內에서도 蒸發計 蒸發量의 記錄値는 50年來에 이르고 있으며⁽³⁾, 各種工事의 基準을 위하여 그 利用實績도 있다.⁽⁴⁾ 그러나 相當한 部分에서 間接的인 推定方法이 直接 利用되고 있음을 알 수 있고⁽⁵⁾⁽⁶⁾, 이러한 推定式에 관한 實測資料와의 관계는 最近에 와서 이루어졌을 뿐⁽⁷⁾ 全無하였던 것이다.

水文資料의 分析 結果에서 降水 및 河川水量에 관한 統計의 特性은 相當量에 이르렀다. 그러나 蒸發計 蒸發量에 관한 研究는 未盡하였으며, 따라서 그 記錄値가 10年 以上の 全國的인 規模임에도 不拘하고 그 利用이 되고 있지 않음을 勘案하여 本 研究를 試圖한 것이다. 特히 蒸發計 蒸發量의 統計의 特性分析은 長期 灌溉用水量의 推定을 위한 目的의 一環에 의한 것이다.

따라서 本 論本의 目的은 全國 主要 地方에 있어서의 蒸發計 蒸發量의 統計의 特性 및 時系列 特性의 分析을 試圖함으로써 蒸發計 蒸發量 觀測期間의 有效年限의 發見과 그 利用의 妥當性을 檢討하여 그 利用을 圖謀하는데 있다.

II. 文獻概要

水文資料의 統計의 特性의 分析은 主로 將來의 發生確率을 表示하기 위하여 利用되어 왔다. 頻度分析은 洪水, 河川流量, 降雨, 旱魃 및 水波 등에 걸쳐서 廣範圍하게 利用되어 왔다.⁽¹⁾

國內에서 朴(1964)⁽²⁾은 降水記錄에 대한 統計分析, 時系列 分析등을 實施하였고 水文變量에 대한 研究는 李(1974)⁽³⁾가 月流量分析을, 崔(1973)가 日流量分析을, 그리고 李(1976)⁽⁴⁾가 月降雨量에 대하여 各各 試圖하였다. 이들의 方法은 勿論 各各의 研究課題와 範圍에 따라 差異는 있으나 模擬發生을 前提하였던 것이며, 이를 위한 基本統計등의 分析을 實施하였다. 特히 朴과 崔는 各各의 對象 水文變量의 時系列 特性 分析을 實施하였다.

蒸發計 蒸發量은 主로 灌溉用水量의 實測을 위한 基準으로서 일적부터 利用되어 왔다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

이러한 蒸發計시의 資料를 實際量으로 利用하기 위해서는 係數의 適用이 必要한데 이를 蒸發計시係數라고 한다. 그러나 이러한 制約에도 불구하고 測定의 簡單性이나 維持管理의 便宜性 때문에 直接的인 貯水池나 水面으로부터의 測定法을 대신하여 여러 가지 目的으로 利用되었다.⁽²⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ 特히 蒸發散量 調査를 위한 3種의 蒸發計시를 試驗한 中央觀象臺나⁽¹²⁾ 愼동(1976)의 報告도 있으며, 金(1977)⁽¹³⁾은 몇가지 潛在蒸發散量의 推定公式을 위한 目的으로 利用하였다. 한편 Penman式에 의한 潛在蒸發散量의 旬別 變化模型에는 7月 中下旬의 最大値를 基準으로 한 時間의 指數函數型이 導入되었고, 金(1977)은⁽¹³⁾ 이를 國內에 適用하여 係數를 決定하였다. 特히 그의 報告에서 Penman式의 結果와 蒸發計 蒸發量과 直接的인 關係를 提示한 것을 勘案할 때 蒸發計 蒸發量의 變化를 推定하여 볼 수 있겠다.

中央觀象臺의 資料에는 年間 地域別 蒸發量이 每年 報告되어오고 있다.⁽¹⁴⁾ 한편 Hargreave式에 의한 蒸發量의 推定方法이 沃舒地區에서 適用되었다.⁽¹⁵⁾ 즉 蒸發量의 推定을 위한 方法으로서 이를 利用하여 設計한 例가 있다.

III. 蒸發量의 統計學的 特性

1. 年平均 蒸發量의 特性

(1) 年平均 蒸發量의 地域的 變化

蒸發計 蒸發量의 地域에 따른 差異를 考察코자 Table.1의 觀測地點에서 얻은 年間 蒸發量으로부터 地域에 따른 分布를 考慮하여 Fig. 1의 結果를 얻었다.

年平均 蒸發量의 地域的인 分布는 中央觀象臺⁽¹⁷⁾의 報告에서와 같이 海岸線에 거의 平行한 等蒸發量의 分布傾向으로서 最大 1,375mm內外, 最少 990mm

Table. 1. Specification of stations

Stations	Latitude (N)	Longitude (E)	Height, m
Sokcho	38°—12'	128°—36'	25.8
Chunchun	37—52	127—36	74.0
Kangreung	37—45	128—54	26.0
Seoul	37—34	126—58	85.5
Ulreungdo	37—29	130—54	221.1
Incheon	37—29	126—38	68.9
Suweon	37—16	126—59	36.9
Susan	36—47	126—27	19.7
Chungju	36—38	127—26	59.0
Daejeon	36—18	127—24	77.1
Chupoongrung	36—13	128—00	245.9
Pohang	36—02	129—23	5.6
Kunsan	35—59	126—42	26.3
Daegu	35—53	128—37	57.8
Jeonju	35—49	127—09	51.2
Ulsan	35—33	129—19	31.5
Jinju	35—11	128—05	25.0
Kwangju	35—08	126—55	70.9
Pusan	35—06	129—02	69.2
Chungmu	34—50	128—26	32.2
Mokpo	34—47	126—23	53.4
Yeosu	34—44	127—44	67.0
Jeju	33—31	126—32	22.0
Sukyupo	33—14	126—34	51.9

內外일을 보여 地域間的 差가 甚함을 살펴볼 수가 있다. 尹(1976)⁽¹⁹⁾의 平均蒸發散量의 算定值가 700~765mm임을 綜合한 것과 約 65%以上の 差를 나타내 주었고 等蒸發量의 方向에 있어서도 큰 差를 보였다. 그것은 尹의 報告는 推算에 의한 蒸發散量으로서 蒸發計 蒸發量과 蒸發散量間的 差를 示해

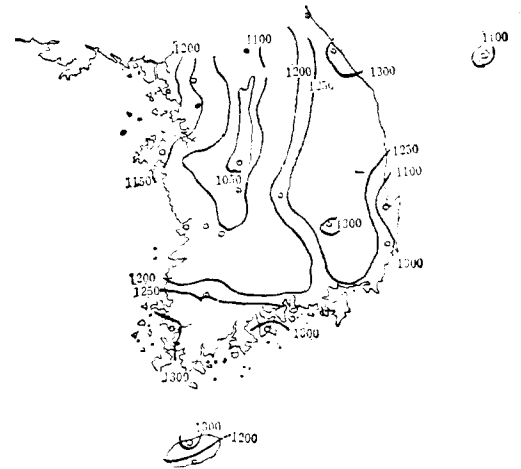


Fig. 1. Variation of annual evaporation.

줄 뿐만아니라 經驗公式의 應用에 있어서도 限界性이 있을 것임을 생각할 수 있다고 본다.

(2) 年平均 蒸發量의 傾向分析

統計變量의 時系列 分析(analysis of time series)에는 여러가지 方法이 있다. 이 중 傾向分析(trend analysis)은 時系列 分析의 一部이나 移動傾向의 分析 方法으로서 時系列과의 關係에 대하여 確實하게 規明되지는 않았다. 그러나 傾向變動 要因을 제거하는 方法으로 이용되고 있다.⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁶⁾ 여기서 年平均 蒸發量의 傾向變動을 除去하기 위하여 移動平均法(moving average)⁽⁴⁾을 利用하여 서울地區의 20 年值의 資料를 分析하였다. Table. 2는 移動 平均 期間別 統計의 特性和 各 期間別 平均値의 最大·最少값을 보여준다. 한편 Fig. 2는 各 期間別 最大·最少値와 20年間的 平均値와의 比를 보여준다.

Table. 2. Statistical Characteristics of simple moving averages of annual pan evaporation

m	Moving averages			Mean	Standard deviation	(%)	Remarks
	max. (1)	mix. (2)	difference. (1)-(2)				
1	1215.6	1024.2	191.4	1114.4	54,861	4.9	
3	1200.2	1060.3	130.9	1116.2	37,222	3.3	
5	1175.7	1061.5	114.2	1116.0	30,636	2.7	
7	1160.0	1080.0	80.0	1118.1	26,466	2.4	
9	1151.3	1081.4	69.9	1114.4	21,325	1.9	
11	1132.1	1090.0	42.1	1112.0	14,368	1.3	
13	1121.6	1096.1	25.5	1113.9	8,323	0.7	
15	1120.8	1111.7	9.1	1116.2	2,890	0.2	
mean	1159.7	1076.0	83.6	1115.2		2.2	

當할 만한 結果를 보여 주고 있다.

2. 月均平 蒸發量의 統計의 特性

月平均 蒸發量 資料의 時系列性 및 基本 統計의 特性을 分析하여 長期 灌溉用水量 推定의 基準을 提供하기 위하여 比較的 長期 觀測值를 保有하고 있는 測候所中 서울, 大邱, 全州, 木浦等 4個所의 觀測值를 算定하였다. 分析에 利用한 蒸發計 蒸發量의 記錄值는 1952년부터 1974년까지 (1956年值 除外) 22年間 記錄值 이었다. Table.3는 以上 4個地域의 月 蒸發量에 對한 基本 統計量을 보여준 것이다.

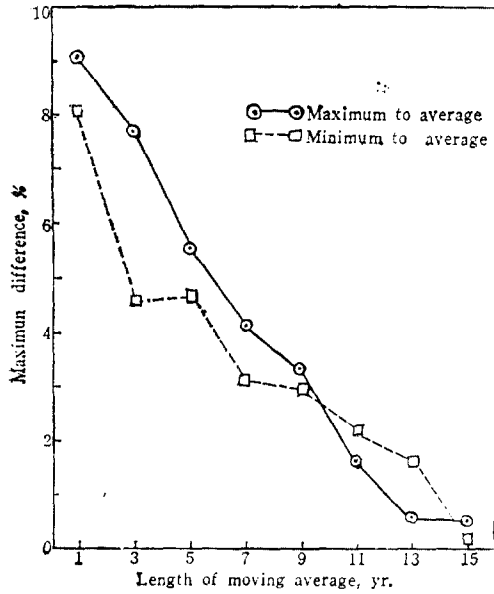


Fig. 2. Maximum difference of moving averages from population mean along with the length of moving average (m).

單純 移動平均의 期間 m 에 對한 分散은 元來의 random 要素의 $1/m$ 倍의 分散을 表示한다. (11) Table. 2의 結果에서 보는 바와 같이 變量係數의 값은 $m=1$ 일때 4.9%, $m=3$ 일때 3.3% 등으로 減少하여 $m=15$ 일때 0.2%로 거의 $1/m$ 倍의 意減을 나타내 준다. 특히 變量係數의 값이 20년에 4.9%를 보인 것은 年平均 蒸發量의 分散이 少量으로서 다른 水文變量에 對한 研究 結果와 對照를 이루고 있다. (11)(15)

以上의 結果는 蒸發計 蒸發量의 有効年限을 發見하는 基準을 提供한다. 移動 平均期間이 3年인 경우, 最大値는 7.7%, 最少値는 4.6% 程度 平均值로부터 差를 보였으나, 11年의 경우에는 各各 1.6%, 2.2%, 15年의 경우에는 0.57%, 0.2% 内外가 減少됨을 나타내고 있다. 朴(1965)의 年降雨分析의 結果는 5年의 경우 18.2%内外, 15年의 경우 7.2%内外, 30年의 경우 4%内外이었음을 들어 水文資料로서 30年 以上의 記錄值를 利用하여야 한다고 結論 지었다. (15) 여기서 蒸發計 蒸發量의 경우는 11年 期間에 이미 降雨量 30年값에 比하여 훨씬 작은 값을 나타낸다. 約 5年間 記錄值의 統計量부터 利用上 큰 無理가 없으며 約 10年間의 경우는 工學的으로 妥

Table. 3(a) Basic statistical data of monthly evaporation at Seoul station

Month	Mean	Standard deviation	Coefficient of Variation	Coefficient of Skewness	Remarks
1	37.8	5.116	13.519	-0.032	
2	45.1	5.348	11.866	0.015	
3	79.1	8.302	10.494	0.250	
4	114.2	17.577	15.391	0.182	
5	154.9	19.140	12.356	0.082	
6	144.3	23.882	16.545	0.383	
7	115.3	22.158	19.213	0.126	
8	128.7	19.608	15.237	0.647	
9	104.0	28.165	27.082	-2.084	
10	89.1	10.114	11.354	0.939	
11	57.1	8.281	14.511	1.455	
12	39.7	3.964	9.995	1.077	

Table. 3(b) Basic Statistical data of monthly evaporation at Daegu station

Month	Mean	Standard deviation	Coefficient of Variation	Coefficient of Skewness	Remarks
1	60.8	11.450	18.841	-0.214	
2	65.1	9.806	15.055	-0.098	
3	107.7	17.605	16.353	-0.054	
4	134.3	17.527	13.054	-0.621	
5	170.8	20.930	12.256	0.337	
6	171.1	34.861	20.370	-0.155	
7	159.8	57.692	23.591	0.718	
8	170.6	38.460	22.543	0.440	
9	115.1	19.724	17.136	0.464	
10	96.7	13.978	14.458	0.357	
11	67.8	9.715	14.337	-0.311	
12	59.1	9.935	16.818	-0.078	

Table. 3(c) Basic statistical data of monthly evaporation at Jeonju station

Month	Mean	Standard deviation	Coefficient of Variation	Coefficient of Skewness	Remarks
1	36.6	8.168	22.306	-0.165	
2	42.1	9.313	22.137	-0.761	
3	75.7	13.944	18.413	-0.365	
4	108.8	14.590	13.407	0.346	
5	147.1	22.280	15.143	0.282	
6	150.7	30.303	20.111	0.379	
7	136.5	26.917	19.718	0.186	
8	145.3	22.664	15.597	0.334	
9	105.5	14.943	14.167	0.452	
10	87.5	12.604	14.412	0.454	
11	52.0	7.281	14.006	-0.030	
12	39.0	6.961	17.839	-0.042	

Table. 3(d) Basic statistical data of monthly evaporation at Mokpo station

Month	Mean	Standard deviation	Coefficient of Variation	Coefficient of Skewness	Remarks
1	51.5	8.463	16.418	0.545	
2	55.7	6.265	11.052	-0.088	
3	83.5	16.916	19.115	-0.880	
4	109.7	17.768	16.193	-0.442	
5	139.3	19.522	—	—	
6	144.9	34.544	23.834	0.171	
7	137.2	33.781	24.623	0.208	
8	170.3	35.305	20.728	0.229	
9	130.7	31.381	24.008	1.028	
10	118.6	20.709	17.455	1.389	
11	77.4	11.497	14.864	0.265	
12	56.8	9.057	15.935	—	

이를 檢討하면 다음과 같다.

(1) 月平均 蒸發量

月平均 蒸發量은 地域에 따라서 그 最大值를 나타내는 時期가 약간 相異함을 보여 주고있다. 서울은 5월에 154.9mm로서 年總蒸發量의 13.8% 内外, 大邱는 6월에 171.1mm로서 12.4% 内外, 全州는 6월에 150.7mm로서 13.4% 内外, 木浦는 8월에 170.3mm로서 13.3% 内外 이었다. 여기서 木浦를 除外한 以外的 3個 地域은 5,6월에 最大值를 보여 줌을 살펴볼 수 있다.

蒸發散量에 대한 金(1977)⁽¹²⁾의 報告에 의하면 Penman公式에 의한 年中 最大 日別 潛在 蒸發散量

(maximum daily potential evapotranspiration)은 7月 下旬頃이었다. 그러나 中央觀象臺의 報告⁽¹³⁾ 등을 綜合할 때 蒸發計 蒸發量은 이 時期에 局限하지 않음을 觀察할 수 있을 뿐만 아니라 대부분 雨期의 重複으로 오히려 적은 量을 가짐을 알 수 있다. 따라서 蒸發散量과의 關係에서 尖度는 약간 다른 傾向을 갖는 것으로 '풀이되며 또한 蒸發散量의 推定式으로서는 이러한 局地氣候的인 修正値를 考慮할 필요가 있음을 考察할 수 있다.

한편 灌溉時期의 蒸發量은 灌溉期間을 5~9月로 하였을 때 서울의 경우 647.2mm로서 同地域의 50年間 月平均 降雨量의 和인 1,045.6mm의 約 62%에 該當하지만 月別 差異가 있어 5,6月の 경우에는 蒸發量이 65.7mm나 많아 乾期가 되며 또한 灌溉用水의 供給이 필요한 경우로도 생각할 수 있다.

(2) 月蒸發量의 分散 및 散布度

月平均 蒸發量의 基本統計 分析의 散布度, 變動 및 歪度係數를 算定하므로써 統計値의 代表値로서의 特性을 分析코자하였다.

變動係數(Coefficient of variation) Cv 는 다음 式으로 算定하였다.

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \times 100(\%)$$

여기에서 S : 標準偏差

\bar{x} : N 年間의 月降雨量 平均値

變動係數는 各 地域別로 約 17% 内外의 比較的 적은 값으로 나타났다. 특히 李(1976)⁽¹⁴⁾ 등의 月降雨特性 分析 結果에서 보인 50% 以上の 값과 比較할 때 年度別에 따른 蒸發量은 큰 差異가 없는 것으로 생각된다.

歪度係數(Coefficient of skewness) C_s 는 다음 式으로 算定하였다.

$$C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3} \approx \frac{a}{S^3}; \quad \alpha = \frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})^3,$$

$$a = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum (x - \bar{x})^3,$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$$

여기에서 N : 觀測年限(年)

S : 標準偏差

x : 月蒸發量(mm)

\bar{x} : 月蒸發量의 N 年間 平均値(mm)

C_s 의 값 역시 0.1~0.7 사이의 값으로서 氣象資料에 대한 여러研究⁽¹⁵⁾의 結果에 比하여 매우 낮은 값이었다.

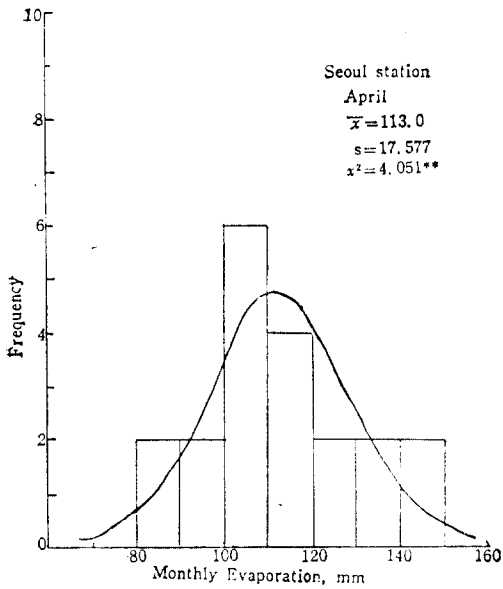


Fig. 3(a) Goodness of fit of normal distribution to monthly evaporation at Seoul station.

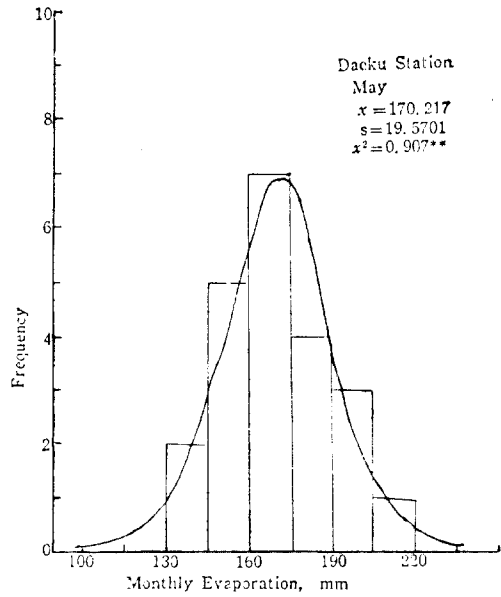


Fig. 3(b) Goodness of fit of normal distribution to monthly evaporation at Daegu station.

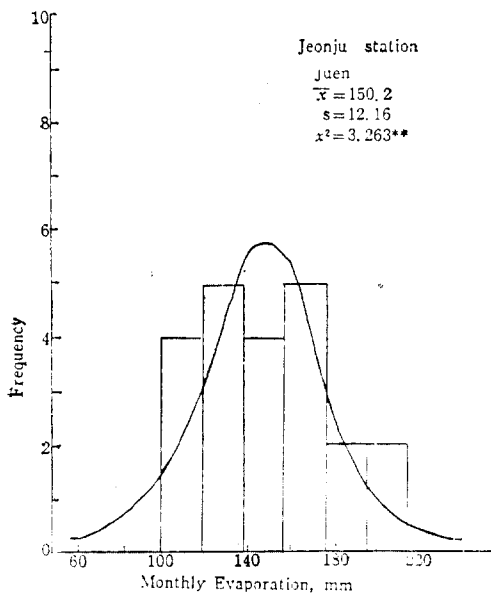


Fig. 3(c) Goodness of fit of normal distribution to monthly evaporation at Jeonju station.

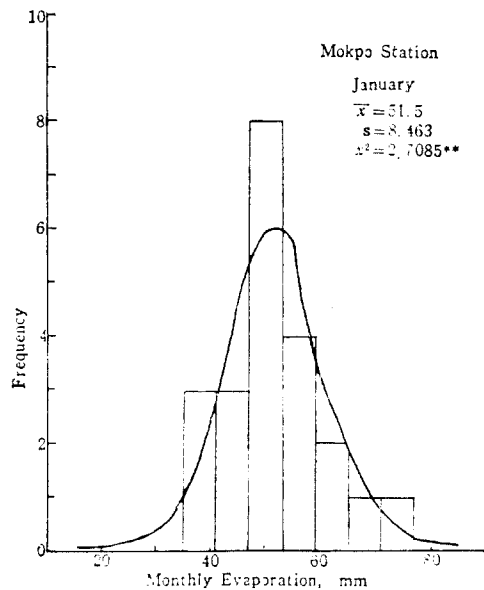


Fig. 3(d) Goodness of fit of normal distribution to monthly evaporation at Mokpo station.

3. 月蒸發量의 正規分布 檢定

母集團으로서의 月蒸發量의 分布特性을 把握하는 것은 長期用水量의 推定基準으로서 月別 또는 其他期間 동안의 蒸發計 蒸發量의 利用與否를 決定하여 줄 수 있다고 생각된다. 月蒸發量의 母集團이 正規分布型을 가질 때 適正期間의 統計值를 分析하므로써 蒸發量의 이용이 可能할 수 있으며 이 期間의 選定이나 測定場所의 決定을 통하여 計劃地區의 推定에 도움을 줄 수 있으리라 생각된다.

各 地點別 月蒸發量의 分布型은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 正規分布를 나타냈다. 여기서 正規分布의 適合度의 檢定은 χ^2 -test에 의하여 實施하였는데 各 地點別로 보면 서울 4.051, 大邱 0.907, 全州 3.263 木浦 2.709 등의 값으로 高度의 有意性을 보였다.

氣象資料의 分析結果에 의하면 年降雨量 分布型은 正規分布型⁽¹⁾이고 月流量의 研究結果⁽¹⁴⁾나 月降雨量의 研究 結果⁽¹⁵⁾는 對數正規分布確率型으로 報告되어 對照的인 것으로서 適切한 期間의 蒸發計 蒸發量의 이용은 統計的인 타당성이 있다고 思料된다.

4. 月蒸發量의 時系列 特性 分析

(1) Correlogram

月蒸發量의 時系列 特性을 分析하므로써 長期 灌溉用水 計劃의 指標로 사용하도록 하였다. 時系列 特性은 여러가지 方法에 의하여 分析되나⁽¹⁾⁽⁶⁾ 여기서는 各 地點에서 時系列 變動 特性을 쉽게 알아볼 수 있는 系列 相關係數(serial correlation coefficient)에 의한 Correlogram을 求하여 變動模型을 判斷하고 利用性을 分析하였다.

系列 相關係數란 K 系列의 間隔을 둔 系列變數間의 相關係數 r_K 로서 다음 式으로 얻어진다.

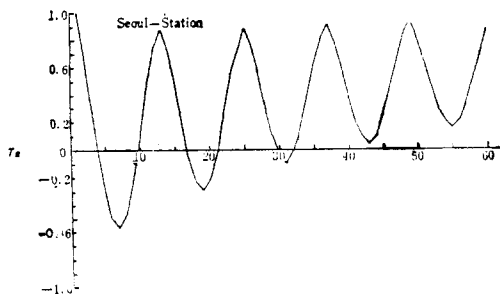


Fig. 4(a) Correlogram of monthly evaporation at Seoul Station.

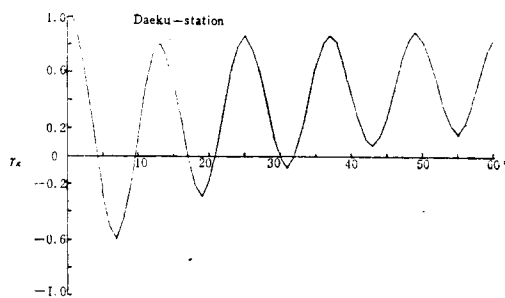


Fig. 4(b) Correlogram of monthly evaporation at Daegu Station.

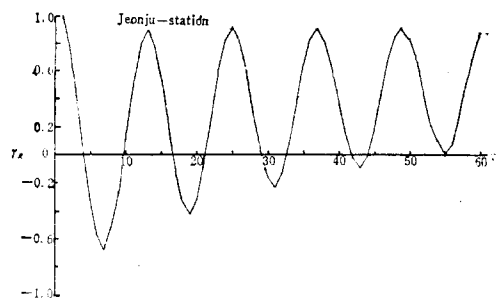


Fig. 4(c) Correlogram of monthly evaporation at Jeonju Station.

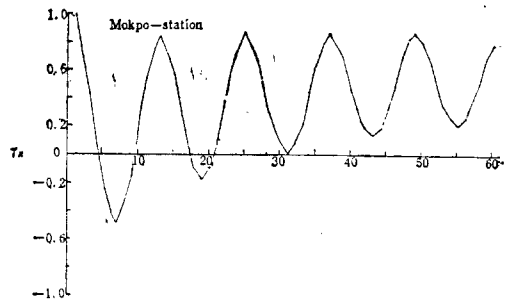


Fig. 4(d) Correlogram of monthly evaporation at Mokpo Station.

$$r_K = \frac{\sum_{t=1}^{N-K} \{(Y_t - \bar{Y}_t)(Y_{t+K} - \bar{Y}_{t+K})\}}{\sqrt{\sum_{t=1}^{N-K} (Y_t - \bar{Y}_t)^2 \sum_{t=1}^{N-K} (Y_{t+K} - \bar{Y}_{t+K})^2}}$$

여기서 N : 總觀測數
 K : 系列間隔

Y_t, Y_{t+K} : t 및 $t+K$ 의 觀測值

\bar{y}_t, \bar{y}_{t+K} : t 및 $t+K$ 의 平均觀測值

$K=60$ (5年)에 대한 系列 相關係數를 求하여 Correlogram을 얻은 結果는 다음 Fig. 4와 같다.

時系列 變動의 分析에서 循環變動模型은 周期變動의 合成型, 偶然變動의 有限集積型, 偶然變動의 無限集積型, 自己回歸型등으로 區分되는데 本 Correlogram의 分析 結果에서 살펴볼 수 있는 것은 周期變動 模型과 類似하며 偶然變動 成分이 포함되어 있음을 觀察할 수 있다. 또한 月別 氣象資料의 分析 結果에서 朴(1964)⁽¹⁴⁾은 降水量과 平均溫度 사이의 正常 周期變動을, 李(1976)⁽¹⁵⁾는 降雨量의 變動模型으로서 偶然成分과 周期成分을 解析하였는데 本 結果와도 이와 類似하게 考察되었으며 단지 周期 12個月을 갖는 變動으로 思料된다. 그러나 周期解析에 의한 長期 資料의 追跡은 統計值 自體가 正規分布를 나타내므로 觀測回數의 增加에 따라서 그 推定值의 利用은 平均値로서 可能할 것으로 思料되어 이에 따른 周期變動模型의 選定은 無意味한 것으로 解析된다.

(2) 周期解析

時系列 循環變動 模型에는 前述한 바와 같이 周期變動의 合成型, 偶然變動의 有限集積型, 偶然變動의 無限集積型등 여러가지가 있으며 周期變動의 合成型에도 周期解析法과 調和解析法등으로 나뉘며 周期解析法에도 또한 여러가지가 있으나 여기서는 Schuster의 方法을 利用하여 月平均 蒸發量에 대한 周期解析을 實施하였다.

月平均 蒸發量 \hat{Y}_t 를 다음과 같이 놓고 最少自乘法에 의하여 A_0, A_1, B_1 을 決定하였다.

$$\hat{Y}_t = A_0 + A_1 \cos x_t + B_1 \sin x_t$$

$$x_t = \frac{2\pi}{P}t \quad (t=1, 2, \dots, P)$$

단, P 는 周期로서 假周期를 設定하여 周期圖表(periodogram)에 의하여 決定된다.

各 地域別 平均 蒸發量의 變化를 考慮하여 假周期로서 6個月, 12個月, 24個月등에 대한 周期圖表를 그려서 確定周期 $P=12$ 를 얻었으며, 實際로 Fig. 4의 Correlogram에서 考察한 바와 같이 周期가 12個月을 중심으로 變動하는 것과 一致하였다.

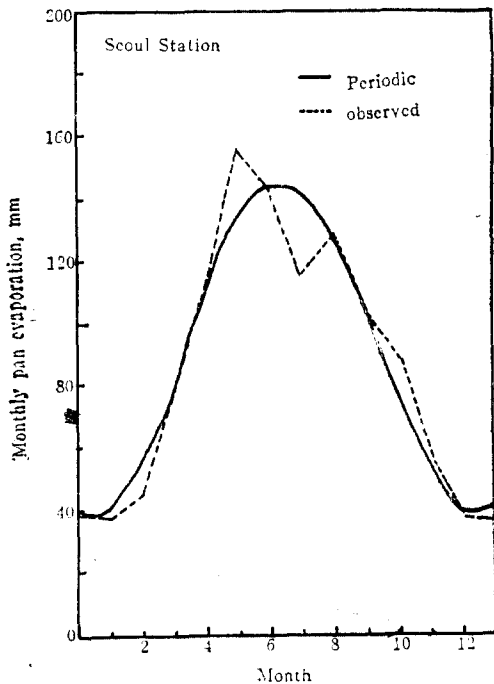


Fig. 5(a) Periodic description of monthly pan evaporation at Seoul station.

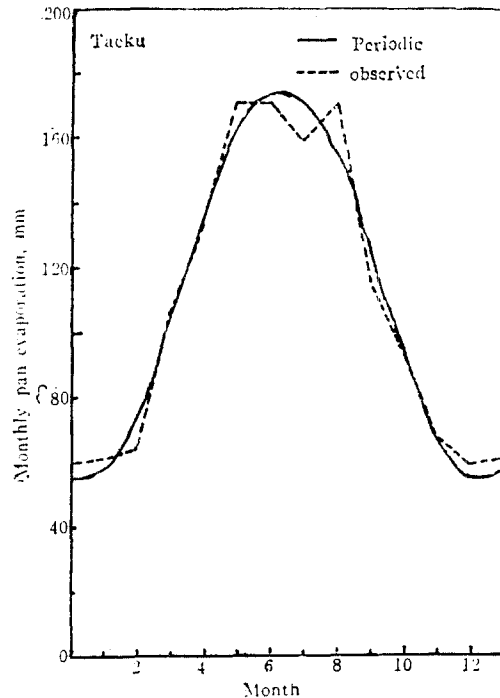


Fig. 5(b) Periodic description of monthly pan evaporation at Taeku station.

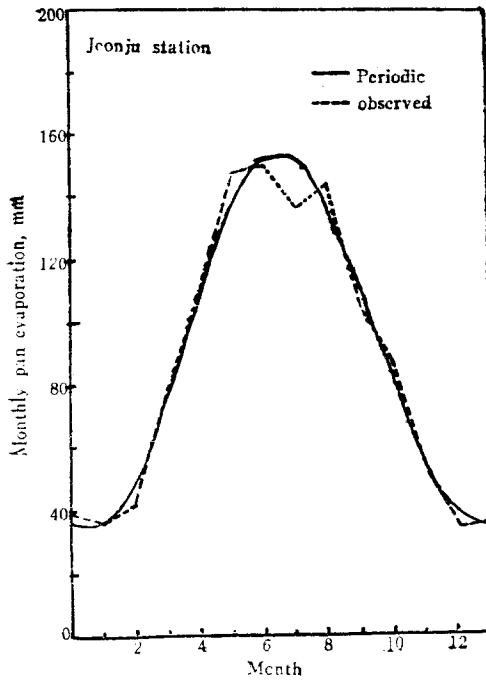


Fig. 5(c) Periodic description of monthly pan evaporation at Jeonju station.

月平均 蒸發量의 周期解析 結果는 Fig. 5와 같다. 各 地方別로 尖度나 振幅의 값은 약간씩 차이가 있으나 그 양상은 거의 類似하였으며 또는 一定한 주기를 갖는등 여러가지 共通性을 보였다.

以上の 結果로부터 月平均 蒸發量의 周期解析에 의한 推定은 可能하며 특히 이러한 方法에 의하여

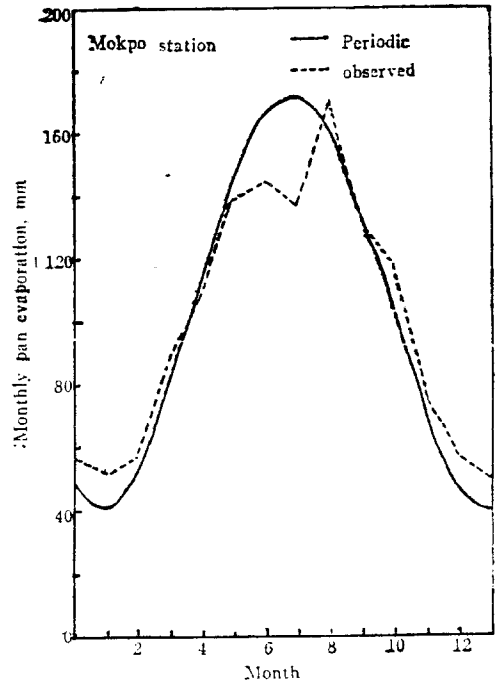


Fig. 5(d) Periodic description of monthly pan evaporation at Mokpo station

部分的이나 有効하게 月別 蒸發量의 推定이 可能할 수 있다고 생각된다.

이들 周期解析에 대한 χ^2 -test에 의한 適合度 檢定(χ^2 test of goodness of fit)의 結果는 Table 4와 같다.

Table. 4. Periodic analysis of monthly mean pan evaporation and Results of χ^2 -test of goodness of fit.

Station	Periodic Analysis	χ^2 -value	Remarks
Seoul	$\hat{Y}_t = 92.4 - 51.76 \cos x_t - 10.90 \sin x_t$	16.244**	$x_t = \frac{2\pi}{P}t$
Taeku	$\hat{Y}_t = 114.91 - 59.75 \cos x_t - 10.70 \sin x_t$	6.442**	
Jeonju	$\hat{Y}_t = 93.9 - 57.14 \cos x_t - 12.19 \sin x_t$	5.966**	
Nokpo	$\hat{Y}_t = 106.8 - 59.86 \cos x_t - 26.70 \sin x_t$	21.743**	

Table. 4에서 보는 바와 같이 各 周期解析에 의한 月平均 蒸發量의 推定은 高度의 有意水準에서 그 適合性이 認定된다.

5. 旬別 蒸發量의 變化

灌溉期間中 旬別 蒸發量의 變化를 살펴보기 위하여 3月 上旬부터 10月 下旬까지의 日平均 蒸發量을 圖示하고 이를 直交多項式法에 의한 高次多項式의 適合度檢定으로부터 4次函數로 表示한 結果는 Fig. 6과 같다.

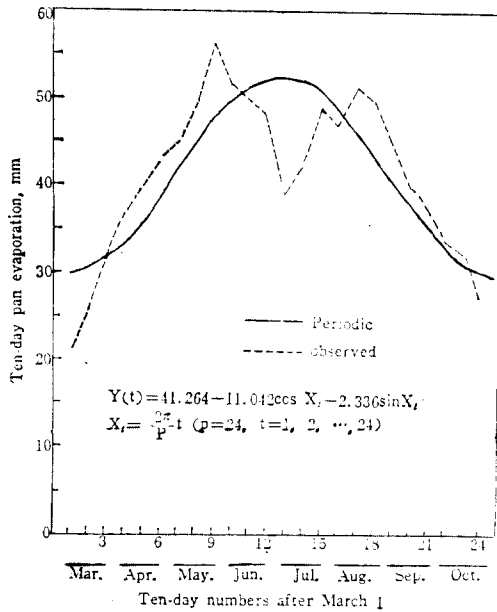


Fig. 6. Periodic description of ten-day pan evaporation at Suweon station.

Fig. 6은 水原地方 5年間 平均値에 의해서 얻은 것으로서 同地方의 同期間 동안 潛在 蒸發散量의 旬別 模型과 對比하기 위하여 求한 것이다.

金(1977)⁽¹²⁾의 研究 結果에 의하면 水原地方의 旬別 潛在 蒸發散量 $E(E_{1,p})$ 의 變化는 指數函數 模型으로서

$$E(E_{1,p}) = \text{Max}(E_{1,p}) \cdot E_{x,p} \left(-a \frac{|t_i - t|}{\Delta t} \right)^b$$

로 表示되었다. 여기서 $\text{Max}(E_{1,p})$ 는 7月下旬頃의 最大 潛在 蒸發散量, t_i 는 3月 1日부터의 日數 또는 10月 31日까지의 日程을 表示한 것이며 Δt 는 潛在 蒸發散量의 最大値를 보여 주는 날부터 任意日까지의 期間이다. 또한 a, b 는 常數이다.

Fig. 6은 月蒸發量의 周期解析法에 의하여 實測値와 對比한 것이다. 이 結果에서 最大値를 나타내는 시기나 變化模型에서 커다란 차이가 있었는데 이는 夏節期의 雨期 偏在에 의한 蒸發量의 減少를 의미하며 따라서 蒸發計 蒸發量의 潛在 蒸發散量에 의한 이용은 이러한 局地 氣候變化 요인에 더욱 敏感한 것으로 그 타당성이 클 것으로 思料된다. 특히 Pruitt의 考察에 의한 潛在 蒸發散量으로서 蒸發計 蒸發量을 이용하는 타당성을 考察할 때 蒸發計 蒸發量의 變化 경향이 매우 有用할 것으로 判斷된다.

IV. 結 論

長期 灌溉用水量의 決定을 위한 基準으로서 蒸發計 蒸發量을 이용할 수 있는지 여부를 알기 위하여 年間 蒸發量의 地域의 分布 및 傾向分析, 月別 蒸發量의 統計의 特性 分析을 실시한 결과, 月平均 蒸發量은 正規分布型을 나타내며 年別 變化에 의한 차이가 크지 않고 地域의 氣候條件에 比較的, 安定된 分布를 가지므로 그의 이용이 適切할 것으로 보이나 계산에 의한 潛在 蒸發散量과는 약간 그 尖度가 다른 모형이므로 係數의 選定에 留意하여야 함을 旬別 變化模型 등에서 確認하였다.

따라서 蒸發計 蒸發量의 利用은 10年內의 比較的 短期間의 實測値로부터 그 統計量을 基準으로 用水計劃을 樹立함이 妥當할 것이며 이러한 蒸發量의 利用에 관한 研究는 實際의 實用化 研究에 의하여 可能할 것으로 思料된다.

V. 摘 要

全國 主要 測候所의 數年間 蒸發計 蒸發量의 統計의 特性을 分析하므로써 長期 灌溉用水 計劃의 根據를 提示코자 本 研究가 試圖되었다. 蒸發計 蒸發量의 分析은 年, 旬, 月別 記錄値를 利用하여 그 地域의 傾向分析 및 統計의 變異特性, 時系列性, 旬別値의 變化模型 등을 包含하였다. 本 研究에서는 比較的 長期 記錄을 保有한 서울, 大邱, 全州 및 木浦의 記錄値를 選定하였으며 또한 Penman式의 結果와 對比하기 위하여 水原地方의 記錄値를 選擇하였다.

本 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 年平均 蒸發量은 地域에 따라 다르나 990~1,375mm 이며 그 等蒸發量의 分布圖는 Fig. 1과 같이 表示되었다.
2. 年平均 蒸發量의 경향분석 結果는 Table.2 및 Fig. 2와 같으며 10年 內의 比較적 短期間의 資料로도 그의 이용은 妥當할 것으로 생각된다.
3. 主要 測候所의 蒸發量에 관한 平均値 및 散布度는 Table.3와 같이 나타났다.
4. 月平均 蒸發量은 正規分布를 보였으며 地域別로 月別 分布型은 Fig. 3과 같다.
5. 月平均 蒸發量의 時系列 特性은 Fig. 4의 Correlogram에서와 같이 周期 12個月의 循環變動

을 보며 주고 있다.

6. 月平均 蒸發量의 周期解析 結果는 Table. 4에 表示된 바와 같으며 Fig. 5는 各 地域別 實測值와의 對比를 보이고 있는데 이는 Shuster型에 잘 符合됨을 알 수 있다.

7. 旬別 蒸發量의 變化를 알기 위하여 月別值의 模型인 周期解析을 實施한 結果는 Fig. 6와 같았으며 Penman式에 의한 潛在 蒸發散量과는 그 變化模型이나 尖度등이 약간 相異하게 나타났다.

參 考 文 獻

1. Chow, V.T., (1964), "Statistical and Probability Analysis of Hydrologic Data." Sec. 8, Handbook of Applied Hydrology, edited by V.T. Chow, McGraw-Hill, N.Y.
2. Eagleson, P.S., (1970), "Dynamic Hydrology." McGraw-Hill, N.Y. pp. 211~241.
3. Frevert, R.K., G.O. Schwab, T.W. Edminster, & K.K. Barnes, (1959), "Soil & Water Conservation Engineering." John Wiley & Sons, N.Y.
4. Gomez, K.A., & A.A. Gomez, (1976), "Statistical Procedures for Agricultural Research with Emphasis on Rice." IRRI, Philippines.
5. Hall, W.A., & J.A. Dracup, (1975), "Water Resources Systems Engineering." Tata McGraw-Hill, New Delhi.
6. Kendall, M.G., (1973), "Time-Series." Griffin, London.
7. Linsley R.K., M.A. Kohler, & J.L.H. Paulhus, (1949), "Applied Hydrology." McGraw-Hill, N.Y. pp. 154~181.
8. Pruitt, W.O., (1960), "Relation of Consumptive Use of Water to Climate." Transactions of the ASAE 3 : (1)9-13.
9. _____, (1966), "Empirical Method of Estimating Evapotranspiration Using Primarily Evaporation Pans." A.S.A.E. Conference Proceedings. pp.57-61.
10. Veihmeyer, F.J., (1944), "Evapotranspiration." Sec. 11, Handbook of Applied Hydrology, edited by V.T. Chow, McGraw-Hill, N.Y.
11. Wisler, C.O., & E.F. Brater, (1959), "Hydrology." John Wiley & Sons, N.Y. pp. 192-229.
12. 金哲會, (1977), "土壤水分含量豫測 및 計劃 灌溉 模擬 模型 開發에 關한 研究." 서울大 大學院.
13. 李根厚, 劉漢烈, (1976), "月降雨量의 模擬發生에 關한 研究." 韓國農工學會誌 Vol. 18. No. 4, pp. 24~33.
14. 李舜鐸, (1974), "河川流量의 模擬發生에 關한 統計學의 研究." 高대 大學院, pp. 81~117.
15. 朴成宇, (1965), "統計學의 解析에 依한 年降雨量 觀測值의 有效年限의 發見과 期待 降雨量 發見을 위한 新分布 函數의 導入 및 缺測年限의 有效水文值에 미치는 影響調查에 關한 研究." 韓國農工學會誌 Vol. 2. No. 5, 3p. 80~103.
16. _____, (1964), "週期性 函數를 利用한 年降雨와 年氣溫變化의 週期發見에 關한 研究." 大韓土木學會誌 Vol. 6. No. 1, pp. 39~51.
17. 中央觀象臺, "氣象年報(1952~1975)." 서울.
18. 中央觀象臺研究調查部, (1973), "蒸發散量調查." MR-73-4.
19. 尹龍男, (1976), "水文學," 清文閣, 서울. pp. 60~83.